

فیزیک کاربردی راکتورهای هسته‌ای

تالیف و ترجمه :

مهندس احمد داورزنی

سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران

۱۳۸۴

داورزنی، احمد

فیزیک کاربردی راکتورهای هسته‌ای / تألیف احمد داورزنی. -- تهران: سازمان انتشارات
جهاد دانشگاهی (واحد تهران)، ۱۳۸۳.

ISBN 964-8171-50-5

د، [۳۱۸] ص: مصور، جدول، نمودار.
فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیفا
کتابنامه: ص. [۳۱۷].

۱. راکتورهای هسته‌ای. الف. سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی (واحد تهران). ب. عنوان

۶۲۱/۴۸۳

TK ۹۲۰۲/د ۲ ف ۹

م ۸۳ - ۴۰۸۳۸

کتابخانه ملی ایران



واحد تهران

نام کتاب: فیزیک کاربردی راکتورهای هسته‌ای

مؤلف: مهندس احمد داورزنی

ناشر: سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی شعبه واحد تهران

ناظر چاپ: غلامرضا نسرانی

لیتوگرافی: آبرنگ

چاپ: شرکت آثار برتر چاپ

شمارگان: ۱۵۰۰ نسخه

نوبت چاپ: اول - بهار ۱۳۸۴

قیمت: ۳۲۰۰۰ ریال

شابک: ۹۶۴-۸۱۷۱-۵۰-۵

ISBN:964-8171-50-5

نشانی: تهران- صندوق پستی ۱۸۶-۱۳۱۴۵

تلفن: ۶۴۹۱۸۴۹۹-۶۹۵۴۳۶۸ تلفکس: ۶۴۹۰۳۲۹

تلفن مرکز پخش: ۶۴۹۵۶۹۹-۶۱۱۳۳۵۴

مقدمه

با نام خدا، که هیچ کاری بدون عنایت و خواست او عملی نیست، سخن خود را آغاز کرده و او را به خاطر به سرانجام رساندن این فعالیت علمی، تحقیقاتی بی‌نهایت سپاسگذارم. مسیر پیشرفت بشر از زمان‌های قدیم تاکنون همواره با مسئله انرژی همراه و همگام بوده است. آدمی در هر لحظه از زندگی خود با انواع مختلف اشکال انرژی برخورد و تماس داشته است و این امر از دیر باز تاکنون همچنان ادامه دارد. اجداد ما با انباشتن سنگ‌ها بر در غارهای خود اقدام به ذخیره‌سازی و تراکم کردن انرژی کرده و از آن برای مقابله با حیوانات وحشی بهره می‌گرفتند. چون به دور آتش می‌نشستند در انرژی ساطع شده از آن به گرمای مطبوعی دست می‌یافتند. با کشیدن زه کمان انرژی مکانیکی را به تیر از کمان رها شده، منتقل می‌کردند.

قبل از اختراع هر دستگاهی انسان به بهره‌گیری از قدرت جسمانی حیوانات اهلی برای افزودن به سرعت جابجایی و انتقال خود پی برده بود. دیری نپایید که با نصب پارچه‌ای بر دکل کشتی‌ها، توانست سفینه‌اش را بر پهنه دریاها به جولان درآورد. در همان زمان آسیاب بادی را نیز اختراع کرد. اما هنگامی که باد از وزیدن باز می‌ایستاد، بال‌های آسیاب بادی بی‌حرکت می‌ماندند و بادبان‌های قایق‌ها نیز به دکل می‌چسبیدند. ولی روی جریان آب بیشتر می‌شد حساب باز کرد، به این علت در بسیاری از موارد او نیروی آب را ترجیح می‌داد.

فقط اختراع ماشین بخار بود که به آدمی امکان داد تا خود را از قید و بند حضور آب‌های جاری خلاص کند. ماشین بخار جای کشتی‌های بادبانی و چرخ‌های دست و پاگیر ماشین‌های هیدرولیک را گرفته و لوکوموتیوهای پر قدرت و سریع‌السر را روی ریل‌های آهن به حرکت در آورد. ماشین بخار با پیستون‌ها و بازوهای فلزی‌اش در خدمت پیشرفت فنی بشر قرار گرفت و به او کمک زیادی کرد. "قرن نوزده قرن بخار نامیده شد".

بعد از آن انسان به انرژی الکتریکی دست یافت، بکارگیری انرژی الکتریکی و افزایش سریع و ناگهانی مقدار انرژی موجود در اختیار بشر، شرایط زندگی و کار او را دگرگون ساخت.

در دهه‌های اخیر مقدار انرژی تولید شده در جهان با آهنگی سریع افزایش یافته و در همان حال منابع آن نیز کاملاً دستخوش دگرگونی شده‌اند. به عنوان مثال، در حدود سال‌های شصت قرن نوزده تنها ۱۵ درصد انرژی مصرف شده توسط انسان بوسیله موتور تولید می‌شد، حال آنکه ۷۳ درصد توسط حیوانات و ۶ درصد بوسیله ماشین‌های هیدرولیک، آسیاب‌های بادی و ماشین‌های بخار تولید می‌شدند. امروزه نیروهای انسانی و حیوانی حتی یک درصد انرژی جهانی را تولید نمی‌کنند، در حالی که ۹۹ درصد انرژی توسط موتورهای مکانیکی فراهم می‌شود.

در قرن نوزدهم تقریباً از سوخت فسیلی هیچ استفاده‌ای به عمل نمی‌آمد، اما امروزه قسمت اعظم نفت، زغال سنگ و گاز برای مقاصد انرژی‌زا مورد استفاده قرار می‌گیرد. هم اکنون علاوه بر افزایش مصرف مقدار انرژی در جهان، نکته دیگری که می‌بایست بدان توجه کرد دگرگونی و تحول در روش‌های آزادسازی و بهره‌گیری از آن می‌باشد. در قرن نوزدهم تولید انرژی مکانیکی فکر بشر را به خود مشغول کرده بود، اینک تولید انرژی الکتریکی است که مورد توجه قرار گرفته است. امروزه میزان پیشرفت صنعتی یک کشور بوسیله اندازه تولید و مصرف انرژی الکتریکی آن کشور تعیین می‌شود. مزایای استفاده از این نوع انرژی باعث شده که بشر به سمت تولید این نوع از انرژی، تمایل بیشتری نشان دهد. برای اثبات این مطلب کافی است به این نکته اشاره کنیم که بوسیله دستگاه‌های نسبتاً ساده با بازده خیلی خوب انرژی الکتریکی را می‌توان به سایر اشکال انرژی تبدیل کرد. مثلاً یک موتور الکتریکی قادر است انرژی مکانیکی با بازده بیش از ۹۶ درصد تولید کند، یا یک کوره الکتریکی اغلب با راندمان ۱۰۰ درصد انرژی الکتریکی را به انرژی حرارتی تبدیل می‌کند. چنانچه بخواهیم اهمیت انرژی الکتریکی را در یک جمله بیان کنیم، کافی است بگوئیم که، "برق خون صنایع مدرن امروزی است".

در حال حاضر بشر در نتیجه پیشرفت تکنولوژی به منابع دیگری از انرژی دست یافته است که مهمترین آنها انرژی شکافت و گداخت هسته‌ای، انرژی خورشیدی، جزر و مد امواج دریا و ... می‌باشد.

با مقدمه‌ای که ذکر شد و در آن به اهمیت تولید انرژی و بالاخص تولید انرژی الکتریکی (که در نیروگاه‌های تولید برق انجام می‌شود) پی بردیم، به بحث در مورد یکی از انواع نیروگاه‌ها، که نیروگاه تولید برق اتمی است، می‌پردازیم. در این نوع از نیروگاه‌ها، از راکتورهای هسته‌ای قدرت که انواع مختلفی دارند، استفاده می‌شود.

راکتورهای هسته‌ای یکی از منابع بزرگ تولید انرژی در عصر حاضر است که دارای ویژگی‌های منحصر به فردی است. در هنگام بهره‌برداری از راکتورهای هسته‌ای، وقتی که با این ویژگی‌ها برخورد می‌کنیم، می‌بایست دقت لازم را به عمل آوریم. فهم دقیق این ویژگی‌ها و آشنایی کامل با آنها برای بهره‌برداری بدون حادثه از راکتورهای هسته‌ای الزامی است. یکی از این نوع راکتورها، راکتورهای آب سبک تحت فشار^۱ است. در این کتاب در مورد مشابه روسی این نوع از راکتورها با قدرت (MW) ۱۰۰۰ که به نام راکتورهای VVER-۱۰۰۰ شناخته می‌شوند، بحث شده است. البته همانطور که از عنوان کتاب برداشت می‌شود، در این کتاب به ویژگی‌های کاربردی فیزیک راکتورها که در هنگام بهره‌برداری عملی از آنها، با این ویژگی‌ها مواجه می‌شویم، پرداخته‌ایم. ولی در متن کتاب در خیلی از موارد، اعدادی ذکر شده است که این اعداد فقط در مورد این نوع از راکتورها (راکتورهای VVER-۱۰۰۰ روسی) صادق است. راکتور نیروگاه برق اتمی پوشهر نیز مشابه این راکتور است.

برای تدوین این کتاب از منابع روسی استفاده شده است. لازم به ذکر است که در این کتاب تا بدانجا به مباحث مختلف تئوری راکتورها اشاره شده است که دانستن آنها به هنگام بهره‌برداری عملی از راکتورها، ضروری به نظر می‌رسد، و لذا از طرح تئوری‌های محض و پیچیده فیزیک راکتورها اجتناب شده است.

چنانچه به فهرست مطالب کتاب توجه نمایید تا انتهای فصل ۲۴، مباحث مختلف تئوری فیزیک راکتورها و بعضی از نکات بهره‌برداری از راکتورهای هسته‌ای را در قالب فصول مختلف مطرح کرده‌ایم. در ادامه به بررسی حوادث مختلف پیش‌بینی شده در طرح نیروگاه با راکتور VVER-۱۰۰۰ پرداخته‌ایم. در فصل ۲۶ با توجه به لزوم درک عوامل بوجود آورنده حوادث پیش‌بینی شده در طرح نیروگاه، اصول اساسی نحوه کار کردن این نوع از نیروگاه‌ها

^۱ Pressurized Water Reactor (PWR)

را به طور خلاصه و تا جایی که علل وجود آورنده حوادث (که در فصول ۲۷ و ۲۸ بدان‌ها اشاره شده است) قابل درک باشند، شرح داده شده است.

مطالعه این کتاب، از آنجا که به طرح مباحث کاربردی فیزیک راکتورهای هسته‌ای پرداخته‌ایم، برای کلیه علاقمندان به کسب دانش هسته‌ای که آشنایی متوسطی با مباحث مختلف فیزیک دارند، مفید خواهد بود.

همچنین خواندن این کتاب به تمام دانشجویان مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد فیزیک و مهندسی هسته‌ای که به دنبال کسب تجارب عملی بهره‌برداری از راکتورها هستند، توصیه می‌شود. در نهایت مطالعه این کتاب برای کلیه کارشناسان شاغل در مراکز اتمی و هسته‌ای کشور مفید است، چرا که باعث افزایش مهارت و دانش عملی آنها می‌شود.

امیدوارم ترجمه، تدوین و ویرایش این کتاب از زبان روسی که زحمات زیادی را در بر داشته است، مفید واقع شده و دانش پژوهان گرامی از آن نهایت استفاده را ببرند. در خاتمه از تمام اساتید، دانشجویان و کارشناسان محترم استدعا دارم که بنده را از انتقاد و پیشنهادهای خود در جهت رفع نواقص و بهتر شدن این کتاب در ویرایش‌های بعدی بهره‌مند سازند.

لازم می‌دانم که از سازمان انرژی اتمی ایران که زمینه فراگیری این شاخه از علم و فن را با برگزاری دوره‌های داخل و خارج از کشور برای بنده مهیا نمودند، همچنین از تمام همکاران گرامی، مسئولین محترم نیروگاه اتمی بوشهر و معاونت محترم نیروگاه‌های سازمان انرژی اتمی ایران و بالاخص جناب آقایان دکتر شریفلو، مهندس قدس و مهندس درخشنده که همکاری صمیمانه‌ای در زمینه انجام مراحل چاپ کتاب با من داشته و مشوق بنده به ادامه دادن راه تا حصول نتیجه بودند، کمال تشکر را بنمایم.

با آرزوی موفقیت و سربلندی برای همه ایرانی‌های سخت کوش که در جهت خدمت به کشور اسلامی و عزیزان ایران، تمام تلاش خود را بکار می‌برند.

در پناه حق باشید.

بهار سال ۱۳۸۴، احمد داورزنی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱: - ساختمان اتم‌ها، هسته اتم‌ها و خواص آنها
۷	فصل ۲: - رادیو اکتیویته، واپاشی رادیو اکتیو
۱۵	فصل ۳: - واکنش‌های هسته‌ای با منشأ نوترونی
۲۵	فصل ۴: - تأثیر متقابل نوترون‌ها با ماده، کندکردن و دیفیوژن نوترون‌ها
۳۳	فصل ۵: - واکنش زنجیره‌ای شکافت هسته، ضریب تکثیر
	فصل ۶: - مفهوم رادیواکتیویته و واحدهای اندازه‌گیری آن،
۴۷	مفهوم زاپاس راکتیویته (راکتیویته پیش افزوده)
	فصل ۷: - نوترون‌های تأخیری و نقش آنها در کنترل
۵۷	واکنش هسته‌ای، مفهوم β_{eff}
	فصل ۸: - فرآیند تولید سوخت هسته‌ای در قلب راکتور
۶۹	و ضریب تولید سوخت هسته‌ای در آن
	فصل ۹: - مصرف سوخت هسته‌ای، مفهوم عمق مصرف سوخت،
۷۵	سرباره جاذب نوترون در راکتور
۸۷	فصل ۱۰: - سم راکتور Sm و Xe
	فصل ۱۱: - سمی شدن ناپایدار راکتور توسط Xe هنگام قطع سریع بار
۱۰۳	تا مقدار صفر، مفهوم چاه یدی
	فصل ۱۲: - سمی شدن ناپایدار راکتور توسط Sm هنگام قطع سریع بار
۱۰۹	تا مقدار صفر، مفهوم فرآیند ریزش پرومتیوم
	فصل ۱۳: - فرآیندهای گذرای تغییر غلظت Xe وقتی که قدرت راکتور از
۱۱۵	۱۰۰٪ تا ۵۰٪ و از ۵۰٪ تا ۱۰۰٪ قدرت نامی تغییر می‌کند

فصل ۱۴: - بررسی فرآیند نوسان غلظت Xe در راکتورهای $VVER$ و کنترل	
توزیع انرژی آزاد شده در امتداد محور طولی قلب راکتور	۱۱۹
فصل ۱۵: - اثرات و ضرایب دمایی و قدرتی راکتیویته	۱۳۹
فصل ۱۶: - تنظیم خودبخودی قدرت راکتورهای هسته‌ای	۱۵۵
فصل ۱۷: - کمپانی راکتور (یک دوره کاری راکتور)	۱۶۱
فصل ۱۸: - آزاد شدن انرژی در قلب راکتور، میزان غیریکنواختی	
انرژی آزاد شده در قلب راکتور (ضرایب K_p, K_r, K_z)	۱۶۵
فصل ۱۹: - گرمای باقیمانده (آزاد شدن انرژی گرمایی بعد از توقف راکتور)	۱۷۷
فصل ۲۰: - بحران تبادل حرارت و شرایط ایجاد آن	۱۸۳
فصل ۲۱: - محاسبه قدرت گرمایی قلب راکتور هسته‌ای W_c	۱۸۷
فصل ۲۲: - محاسبه غلظت بحرانی اسیدبوریک به هنگام راه‌اندازی راکتور، دلایل برقراری سیستم تنظیم با استفاده از	
محلول بور، مزایا و معایب	۱۹۱
فصل ۲۳: - مقدار کل راکتیویته منفی حفاظت اضطراری	۲۰۷
فصل ۲۴: - قدرت راکتور زیر بحرانی	۲۱۳
فصل ۲۵: - حوادثی که موجب خروج ناپایدار راکتور به وضعیت بحرانی می‌شوند ...	۲۲۷
فصل ۲۶: - اصول اساسی بکار رفته در نحوه کارکردن نیروگاه‌های	
برق هسته‌ای با راکتور $VVER-1000$	۲۳۷
فصل ۲۷: - بررسی حوادث پیش‌بینی شده در طرح نیروگاه	
از نقطه نظر میزان خطر آنها برای قلب راکتور	۲۶۹
فصل ۲۸: - بررسی دینامیک رژیم‌های شکستگی در لوله‌های مدار اول و دوم	
از نقطه نظر میزان خطر آنها بر قلب راکتور	۲۹۱
ضمیمه ۱:	۳۰۵
منابع	۳۱۷